

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2025

Aufgaben für das Fach Physik

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Interferenzen bei Bluetooth-Signalen
Anforderungsniveau	erhöht
Inhaltsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen <ul style="list-style-type: none"> ◆ Schwingungen <ul style="list-style-type: none"> ◆ mechanische und elektromagnetische harmonische Schwingungen: charakteristische Größen und ihre Zusammenhänge ◆ Eigenschaften und Ausbreitung von Wellen <ul style="list-style-type: none"> ◆ harmonische Wellen: charakteristische Größen und ihre Zusammenhänge ◆ Überlagerung von Wellen <ul style="list-style-type: none"> ◆ stehende Wellen ◆ Interferenz am Doppelspalt auch mit polychromatischem Licht
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> ◆ M 1 Bluetooth-Signale ◆ M 2 Experiment zur Bestimmung der Wellenlänge ◆ M 3 Verwendung von zwei Antennen zur Verstärkung des Signals (Beamforming) ◆ M 4 Gesundheitsrisiken von Bluetooth
Quellenangaben	<ul style="list-style-type: none"> ◆ M 1, M4 in Anlehnung an: Bundesamt für Strahlenschutz (2019). <i>Sprach- und Datenübertragung per Funk: Bluetooth und WLAN</i>. Verfügbar unter: https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/emf/info-bluetooth-und-wlan.pdf;jsessionid=8417BC304F73D47669FB8DE695812FA3.1_cid374?__blob=publicationFile&v=7 (Zugriff am 30.11.2023)
Hilfsmittel	<ul style="list-style-type: none"> ◆ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat¹ ◆ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	nein

¹ siehe „Hinweise zur Verwendung von Hilfsmitteln“

1 Aufgabe

Interferenzen bei Bluetooth-Signalen

Heutzutage ist es problemlos möglich, mit Hilfe von Funkübertragung viele elektronische Geräte drahtlos miteinander zu verbinden. Anstelle von Kabeln werden zum Datenaustausch elektromagnetische Wellen genutzt. Ein weit verbreiteter Funkstandard wird als „Bluetooth“ bezeichnet und ermöglicht diese Übertragung auf besonders komfortable Weise.

	BE
<p>1 Ein Sender soll Bluetooth-Signale aussenden (siehe M 1). Ordnen Sie den Wellenlängenbereich dem elektromagnetischen Spektrum zu.</p>	4
<p>2 Zur Untersuchung eines bestimmten Bluetooth-Signals wird eine Anordnung wie in Material 2 verwendet.</p> <p>a Begründen Sie, dass es bei einer wie in Material 2 zu Abbildung 1 beschriebenen Anordnung zur Ausbildung einer stehenden Welle kommt.</p> <p>b Bestimmen Sie aus der Abbildung 2 die Frequenz des verwendeten Senders.</p>	3 5
<p>3 Ein guter Empfang erfordert eine hohe Intensität. Um das Signal in einer bestimmten Richtung zu verstärken und so die Reichweite zu erhöhen, wird eine zweite Sendeanenne an den Sender angeschlossen wie in Material 3 beschrieben.</p> <p>a Begründen Sie die beiden folgenden Beobachtungen: ♦ Längs der Symmetrieachse kann ein besserer Empfang erreicht werden. ♦ An anderen Orten kann eine deutliche Abschwächung der Intensität auftreten.</p> <p>b Bestätigen Sie die Gleichung für die Bestimmung der Winkel minimaler Intensität aus Material 3 unter Zuhilfenahme der Abbildung.</p>	5 5
<p>4 Die im Material 3 beschriebene Anordnung ergibt eine Verteilung der Intensität in der Zeichenebene.</p> <p>a Zeigen Sie für eine Wellenlänge von 12 cm, dass in Richtung der beiden Winkel von etwa -37° und etwa $+37^\circ$ die Intensität in großer Entfernung zu den Antennen nahezu Null ist. Zeigen Sie, dass außer der Symmetrieachse keine weitere solche Verstärkungsrichtung existiert.</p> <p>b In der Realität muss man den Winkel maximaler Intensität variieren können. Stellen Sie eine Hypothese auf, wie dies technisch erreicht werden könnte.</p>	6 4
<p>5 Die Übertragung von Energie durch Bluetooth auf menschliches Gewebe macht manchen Menschen Sorgen. Eine Schule überlegt, ihre 1000 Lernenden mit Tablets auszustatten. Zur besseren Wartung sollen die Geräte dauerhaft mit Bluetooth verbunden sein. Verfassen Sie einen Artikel für die Schulzeitung zur Frage der oben genannten Anschaffung der Tablets und ihrer Bluetooth-Wartung. Berücksichtigen Sie dabei Material 4 und auch mögliche Bedenken der Menschen und kommen Sie zu einer klaren Position für oder gegen die Anschaffung.</p>	8

2 Material

Material 1: Bluetooth-Signale

Bluetooth ist ein Standard für die kabellose Verbindung von Geräten über kurze Entfernungen, mit dem z. B. Musik und Sprache übertragen werden. Derartige Bluetooth-Signale nutzen Funkfrequenzen im Bereich von etwa 2,40 bis 2,50 GHz.

Für eine funktionierende Übertragung muss die Intensität für den Empfänger ausreichend groß sein. Die Intensität ist dabei eine zum Quadrat der Amplitude der elektrischen Feldstärke E proportionale physikalische Größe.

Material 2: Experiment zur Bestimmung der Wellenlänge

Um die Frequenz der vom Sender S ausgehenden Strahlung im Experiment zu überprüfen, wird der Sender auf eine etwa 1 m entfernte, senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle stehende Metallplatte M gerichtet, an der die Welle reflektiert wird. Mit einem entlang der Ausbreitungsrichtung beweglichen Empfänger E zwischen Sender und Platte wird die Intensität an verschiedenen Orten gemessen (Abb. 1)

Abbildung 2 zeigt schematisch den Verlauf der relativen Intensität abhängig vom Ort des Empfängers, also seine Verschiebung um den Weg s (in cm) längs der Ausbreitungsrichtung. Eine Intensitätsabnahme kann im gemessenen Bereich vernachlässigt werden.

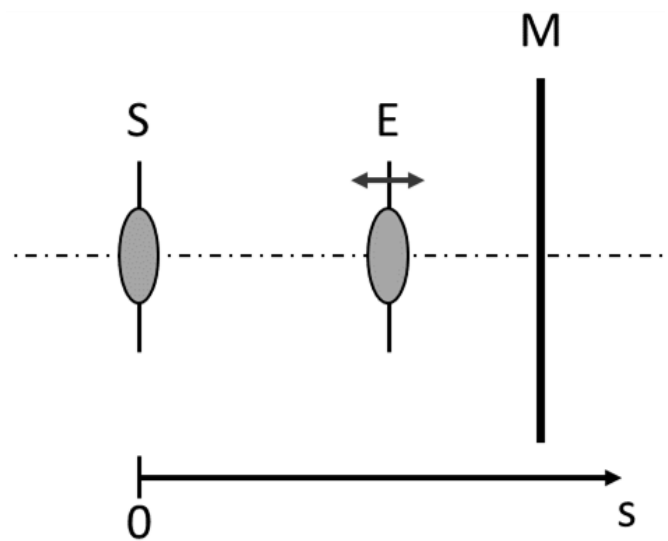


Abb. 1: Versuchsaufbau

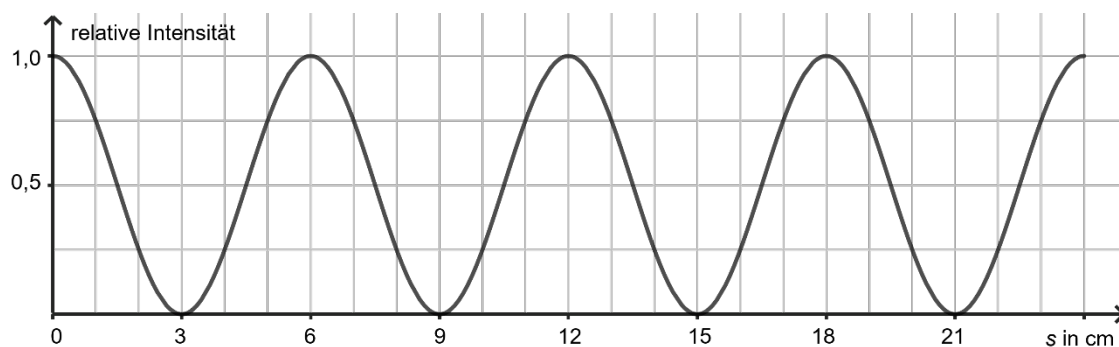


Abb. 2: relative Intensität vor einer Metallplatte

Material 3: Nutzung von zwei Antennen zur räumlichen Ausrichtung des Signals (Beamforming)

Anstatt ein Signal von einer Sendeantenne in alle Richtungen auszustrahlen, nutzt Beamforming mehrere Antennen, um das gleiche Signal auf ein einzelnes Empfangsgerät auszurichten und zu senden. Eine zuverlässigere drahtlose Datenübertragung, bei der in einer gewünschten Richtung die Reichweite erhöht werden kann, ist die Folge. Werden zwei baugleiche Sendeantennen so angeregt, dass sie gleichphasig dasselbe Signal aussenden, ist die Intensität in bestimmten Bereichen erhöht und in anderen deutlich verringert. Im hier betrachteten Fall sollen zwei Antennen S1 und S2 parallel nebeneinander im Abstand $a = 10 \text{ cm}$ stehen. S1 und S2 sind in der Draufsicht in Abbildung 3 als Punkte zu sehen, die Zeichenebene verläuft durch die Mittelpunkte der Antennen.

In bestimmten Richtungen, gekennzeichnet durch den Winkel α in Abbildung 3 kommt es dabei zu fast vollständiger Auslöschung oder zu einer deutlichen Verstärkung des Signals:

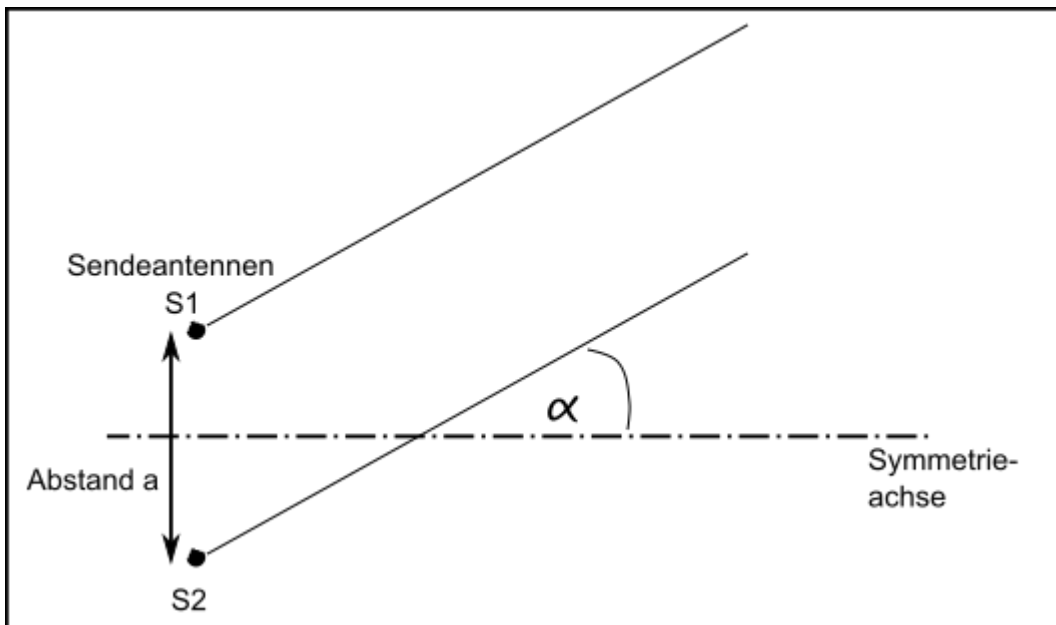


Abb. 3: Anordnung mit zwei Sendeantennen S1 und S2

Winkel mit minimaler Intensität: $\sin(\alpha_{\min,k}) = \frac{(2k-1)\lambda}{2a}$ $k = 1, 2, 3, \dots$	Winkel mit maximaler Intensität: $\sin(\alpha_{\max,k}) = \frac{k\lambda}{a}$ $k = 0, 1, 2, \dots$
---	---

Dabei wird vorausgesetzt, dass die Interferenz in einer Entfernung deutlich weiter als a von den Antennen entfernt betrachtet wird, so dass die Verbindungslinien von S1 und S2 zu dem betrachteten Ort näherungsweise als parallel angesehen werden können.

Material 4: Gesundheitsrisiken von Bluetooth

Es gibt drei Sendeleistungsklassen, die abhängig von weiteren Parametern unterschiedliche Reichweiten ermöglichen:

Tab. 1: Sendeleistung und Reichweite für unterschiedliche Bluetooth-Klassen

Klasse	3	2	1
Sendeleistung	bis 1,0 mW	bis 2,5 mW	bis 100 mW
Reichweite	bis höchstens 10 m	zwischen 10 m und 50 m	bis 100 m

Die meisten der auf dem Markt befindlichen Geräte gehören den Klassen 2 und 3 an.

Je höher die Sendeleistung ist, desto stärker sind die elektromagnetischen Felder eines Geräts. Im Alltag liegt die Leistung meistens unter der maximalen Sendeleistung der jeweiligen Klasse und ist im Standby am niedrigsten.

Der zum Schutz der Gesundheit empfohlene Höchstwert an aufgenommener Leistung beträgt 0,08 Watt pro Kilogramm ($\frac{W}{kg}$) gemittelt über den ganzen Körper.

Die Belastung durch Funkwellen einzelner Bluetooth- oder WLAN-Geräte bleiben in der Regel und besonders bei körperfernem Betrieb deutlich unterhalb der empfohlenen Höchstwerte.

In ungünstigen Situationen (z. B. Laptop auf dem Schoß und Sender unmittelbar über dem Oberschenkel) können Werte in der Größenordnung des empfohlenen Höchstwerts auftreten.

Bluetooth-Sender der Klassen 2 und 3 halten die empfohlenen Höchstwerte aufgrund der niedrigen Sendeleistung immer ein.

3 Erwartungshorizont

Der Erwartungshorizont stellt für jede Teilaufgabe eine mögliche Lösung dar. Nicht dargestellte korrekte Lösungen sind als gleichwertig zu akzeptieren.

		BE/AFB		
		I	II	III
1	<p>Die Frequenzen der Bluetooth-Signale liegen gemäß Material 1 zwischen 2,4 GHz und 2,5 GHz.</p> <p>Damit folgt für die Wellenlängen: $\lambda_1 = \frac{c}{f} = \frac{c}{2,40 \cdot 10^9 \text{ Hz}} = 12,5 \text{ cm}$ bzw.</p> $\lambda_2 = \frac{c}{f} = \frac{c}{2,50 \cdot 10^9 \text{ Hz}} = 12,0 \text{ cm}$ <p>Dies ist der Bereich der Radiowellen.</p>	4		
2	<p>a Vom Sender geht eine elektromagnetische Welle aus. Es kommt zu einer Reflexion an der Metallplatte. Durch die Überlagerung von hin- und rücklaufender (reflektierter) elektromagnetischer Welle kommt es zur Ausbildung einer stehenden elektromagnetischen Welle.</p> <p>b Da die Knotenpunkte im Abstand von einer halben Wellenlänge auftreten, kann zunächst λ bestimmt werden: Durch Ablesen aus dem Diagramm erhält man $\lambda = 12,0 \text{ cm}$.</p> <p>Für die Frequenz des Senders erhält man damit</p> $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{0,120 \text{ m}} = 2,50 \cdot 10^9 \text{ Hz}.$	3	5	
3	<p>a Es kommt zur Interferenz zweier elektromagnetischer Wellen, daher treten Bereiche mit konstruktiver Interferenz, also Verstärkung auf und Bereiche mit destruktiver Interferenz, also Abschwächung. Konstruktiv ist die Interferenz dann, wenn der Gangunterschied ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist, also insbesondere dann, wenn kein Gangunterschied auftritt, was entlang der Symmetrieachse der Fall ist.</p> <p>b Herleitung der Gleichung anhand des Gangunterschiedes von einer halben Wellenlänge:</p> <p>Destruktive Interferenz liegt vor, wenn der Gangunterschied ein ungeradzahliges Vielfaches der halben Wellenlänge, also:</p> $\Delta s = \frac{(2k - 1) \lambda}{2}$ <p>Im rechtwinkligen Dreieck ergibt sich:</p>	3	5	2

<p>4</p>	<p>a</p> $\sin(\alpha_{\min,k}) = \frac{\Delta s}{a}$ <p>Einsetzen liefert:</p> $\sin(\alpha_{\min,k}) = \frac{(2k-1)\lambda}{2a}$ <p>Das ist die gesuchte Gleichung.</p> <p>Bestimmung des Winkels für das erste Minimum aus</p> $\sin(\alpha_{\min}) = \frac{\lambda}{2a} = \frac{12 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} = 0,6 \text{ liefert } \alpha_{\min} = 37^\circ \text{ passend zur ersten}$ <p>Aussage über die Verteilung. Aus Symmetriegründen gilt dies auch für den Winkel -37°.</p> <p>Eine weitere maximale Verstärkungszone existiert nicht, da schon für $k = 1$ in der Gleichung für $\sin(\alpha_{\max,1}) = 1,2 > 1$ ist, also kein solcher Winkel existiert.</p> <p>b</p> <p>Um einen Gangunterschied von nahezu Null auch bei anderen Winkeln zu erhalten, könnte man beispielsweise die beiden Sender so schwingen lassen, dass sie eine Phasendifferenz in ihren Schwingungen aufweisen. Diese Phasendifferenz könnte so gewählt werden, dass beliebige Winkel einer maximalen Verstärkung des Signals erreicht werden können. Die Phasendifferenz würde demzufolge für den erwünschten Gangunterschied sorgen.</p> <p><i>Hinweis: Auch andere Lösungen, etwas über eine Änderung der geometrischen Anordnung der Sender, sind zulässig.</i></p>	<p>4</p>	<p>2</p> <p>4</p>	
<p>5</p>	<p>Der Artikel für die Schulzeitung soll</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ einen Titel, ◆ einen Hauptteil mit einer Argumentation, ◆ sowie eine klare Positionierung am Ende des Textes aufweisen. <p>Gesundheitliche Argumente sind dem Material entnehmbar.</p> <p>Andere Argumente können von den Lernenden geliefert werden, z. B.</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ vielfältige Einsatzmöglichkeiten (Recherchen im Internet, für die Aufnahme von experimentellen Daten, als Wörterbücher oder Taschenrechner...), ◆ Stärkung digitaler Fähigkeiten, ◆ Erleichterung von Kommunikation und online Unterricht in Lock-down Zeiten. <p>Beispielartikel:</p> <p>Tablets für unsere Schule? Gefahr oder Chance?</p> <p>Unsere Schulleitung überlegt, ob sie uns Lernende mit Tablets ausstatten möchte.</p> <p>Seitens der Eltern, aber auch einiger meiner Mitschülerinnen und Mitschüler, gibt es Bedenken, was die gesundheitliche Gefährdung durch Strahlung bei der Nutzung von Bluetooth angeht.</p> <p>Das Bundesamt für Strahlenschutz gibt auf seiner Webseite an, dass die meisten auf dem Markt befindlichen Geräte den Klassen 2 und 3 angehören. Sie haben also eine Strahlungsleistung von maximal 2,5 mW. Die empfohlenen Höchstwerte bei körpernahe Betrieb liegen</p>	<p>2</p>	<p>6</p>	

<p>bei 80 mW/kg. Diese Werte werden von Geräten der Klasse 2 und 3 immer eingehalten. Gesundheitsgefährdung kann also auch in Klassen von 30 Lernenden nicht auftreten.</p> <p>Auf der anderen Seite gibt es vielfältige Anwendungen für die Tablets (Recherchen im Internet, Aufnahme von experimentellen Daten, Wörterbücher oder Taschenrechner...).</p> <p>Ich möchte mich daher klar für die Anschaffung dieser Tablets einsetzen.</p>			
<p>Summe²</p>	<p>13</p>	<p>19</p>	<p>8</p>

² Bei jeder Aufgabe liegen die Anzahlen der Bewertungseinheiten – abhängig vom Anforderungsniveau – in den Bereichen, die der folgenden Tabelle zu entnehmen sind:

Anforderungsniveau	erhöht			grundlegend		
Anforderungsbereich	I	II	III	I	II	III
Anzahl der BE	11 - 13	17 - 21	8 - 10	10 - 12	13 - 16	4 - 6

4 Standardbezug

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	3			
2 a	1			
b	3			
3 a	1			
b	7			
4 a	3			
b		2		
5			3	6

5 Bewertungshinweise

Die Bewertung der erbrachten Prüfungsleistungen hat sich für jede Teilaufgabe nach der am rechten Rand der Aufgabenstellung angegebenen Anzahl maximal erreichbarer Bewertungseinheiten (BE) zu richten.

Für die Bewertung der Gesamtleistung eines Prüflings ist ein Bewertungsraster³ vorgesehen, das angibt, wie die in den drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

³ Das Bewertungsraster ist Teil des Dokuments „Beschreibung der Struktur“, das auf den Internetseiten des IQB zum Download bereitsteht.